

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32606

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03060

研究課題名(和文)キラルリン酸およびその誘導体を用いた不斉合成反応の新展開

研究課題名(英文) New developments of the asymmetric reactions mediated by chiral phosphoric acid and derivatives

研究代表者

秋山 隆彦 (Akiyama, Takahiko)

学習院大学・理学部・教授

研究者番号：60202553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：(R)-BINOL由来のキラルリン酸を用いて、窒素上無置換のトリフルオロメチル置換ケトイミンに対するFriedel-Craftsアルキル化反応、ニトロアルケンに対するFriedel-Craftsアルキル化反応、2-アリールテトラヒドロキノリン誘導体の不斉合成反応、インドリルアルコールの脱ヒドロキシ水素化反応、[3+2]付加環化反応、炭素-水素結合活性化を基軸とする分子内redox反応を用いる環化反応など、様々な不斉触媒反応を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たな不斉触媒反応の開発は、新たな医薬品の合成さらには製造段階において用いられる可能性もあり重要な研究課題の一つである。本研究の成果も、遷移金属を用いることなく、有用な化合物の合成につながり、有意義であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have developed catalyzed enantioselective reactions by means of chiral phosphoric acid, such as 1) Friedel-Crafts alkylation reactions of pyrrole with N-H CF₃ ketimines, 2) Friedel-Crafts alkylation reaction of indole with nitroalkene, 3) dehydrohydrogenation of 2-indolylalcohols, 4) reduction of nitroarenes by use of benzothiazoline and its application to enantioselective synthesis of 2-aryltetrahydroquinoline, 5) [3+2] cycloaddition reaction, and 5) internal redox reaction.

研究分野：有機合成化学

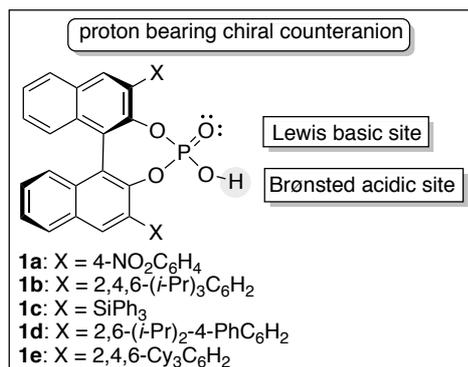
キーワード：不斉合成 有機分子触媒 インドール キラルプレンステッド酸 選択的合成 還元反応 反応開発
不斉触媒反応

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

光学活性化化合物を効率良く合成する手法の開発は、医薬品・農薬等の合成等において不可欠であり、非常に活発な研究が行われている。近年、高い触媒活性を有する不斉触媒の開発が強く求められている。金属錯体を用いた不斉触媒反応は目覚ましい発展を遂げている事は言うまでもないが、2000年以降、比較的低分子量の有機化合物が高い不斉触媒能を有する事が見出され、「有機分子触媒」として大きな注目を集めている。

研究代表者は、(R)-BINOL由来のキラル環状リン酸ジエステル **1a** がキラルプレンステッド酸として優れた不斉触媒能を有する事を見出し、イミンとの Mannich 型反応が効率良く進行し、対応するβ-アミノ酸エステルが良好なジアステレオ選択性かつ高い光学純度で得られる事を、2004年に報告した¹⁾。その後、研究代表者のグループでは、キラルリン酸をキラルプレンステッド酸触媒として用いたイミン、カルボニル基への求核付加反応、付加環化反応等の様々な不斉合成にも成功し、リン酸触媒による不斉触媒反応の開発研究を強力に推進している。我々および寺田らの報告の後²⁾、世界中でキラルリン酸を用いた不斉触媒反応の開発が極めて活発に行われており、キラルリン酸は塩基性部位を有する二官能性のプレンステッド酸として³⁾幅広い種類の反応を効果的に触媒する事が明らかとなり、1000以上のリン酸触媒反応が報告されている⁴⁾。また、ルイス酸触媒としてキラルリン酸金属塩および、更に、キラルリン酸アニオンも不斉触媒反応に幅広く用いられている。しかし、キラルリン酸およびその誘導体が、汎用的な不斉触媒として用いられるようになるためには、未だ解決すべき問題点が数多く存在する。



2. 研究の目的

光学活性化化合物の効率的な合成手法の開発は極めて重要な研究課題の一つである。研究代表者自らが開発した(R)-BINOL由来のキラルリン酸、さらにその誘導体のキラル酸触媒としての有用性を高め、アカデミアでの基礎研究における合成反応から、産業界での応用研究まで、幅広く実用的に用いることができるように、新たな不斉触媒反応を開発するとともに、より高性能のキラルプレンステッド酸触媒の開発も目指して強力に研究を推進する。

3. 研究の方法

本研究では、研究代表者のこれまでの研究成果を元に、キラルリン酸触媒反応の更なる有用性を明らかにし、新たな不斉触媒反応を開発し、キラルリン酸の有効性を明らかにすることを目指す。キラルリン酸触媒反応を益々発展させることを目的として、(1) 新たな触媒反応の開発、(2) 触媒の高性能化の両面から、特に以下の項目を中心に、強力に推進する。

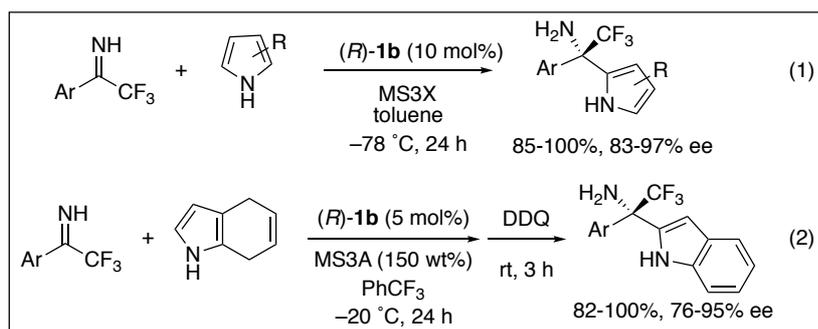
4. 研究成果

新たな不斉触媒反応の開発を行い、以下に示すように、様々な不斉触媒反応を開発することができた。

(1) 第四級炭素骨格の構築

a) 窒素上無置換のトリフルオロメチル置換ケトイミンに対する Friedel-Crafts アルキル化反応

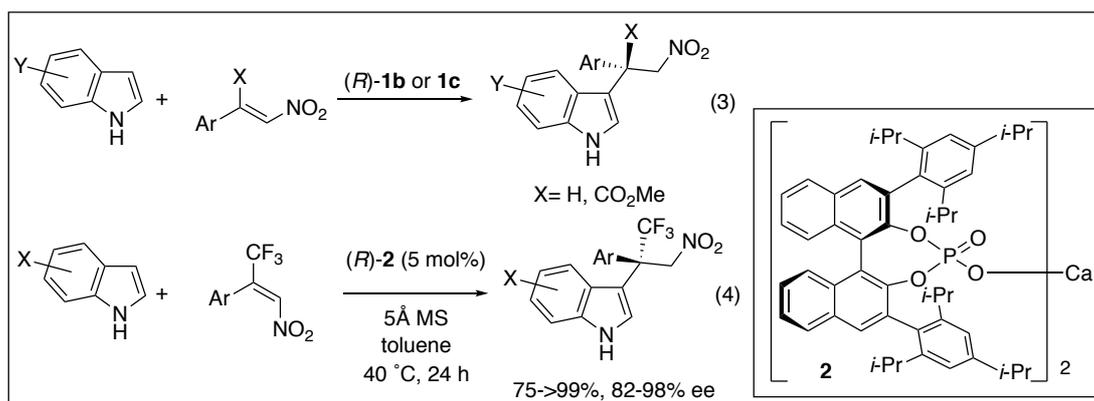
N-H ケトイミンに対する求核付加反応により、フリーのアミンを直接的に得ることができる。一般に窒素上無置換のケトイミンは不安定であるが、トリフルオロメチル基の置換した N-H ケトイミンは比較的安定である。



我々は、トリフルオロメチル基の置換した *N*-H ケトイミンに着目し、インドール、ピロール等の複素環化合物の Friedel-Crafts アルキル化反応を行なった。ピロールを用いると、対応する 2 位置置換ピロール誘導体が高い光学純度で得られた⁵⁾ (Scheme 1)。また、4,7-ジヒドロインドールと反応後に、酸化処理をすることにより、2 位置置換インドール誘導体が高い光学純度で得られた⁶⁾ (Scheme 2)。

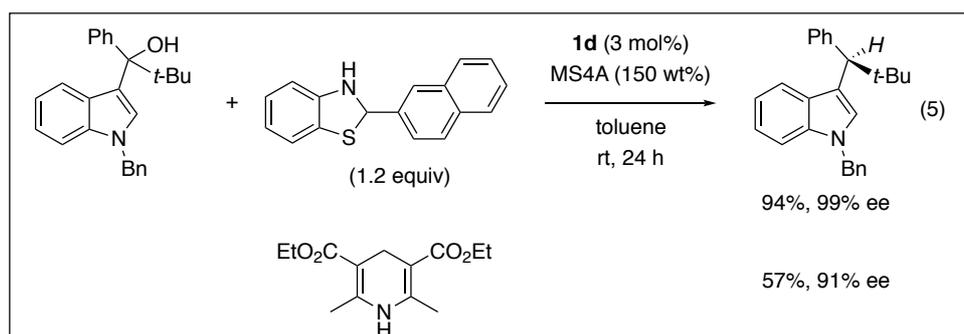
b) ニトロアルケンに対する Friedel-Crafts アルキル化反応

我々は、キラルリン酸 **1b**, **1c** を用いることにより、ニトロスチレンに対するインドールの Friedel-Crafts アルキル化反応が効率よく進行し、対応する付加体が良い収率かつ高い光学純度で得られることを既に報告しており⁷⁾、 β -位にメトキシカルボニル基の置換したニトロアルケンを用いると第四級炭素骨格の構築に成功している⁸⁾ (Scheme 3)。本研究では、 β -位にトリフルオロメチル基の置換したニトロアルケンに対するインドールの Friedel-Crafts アルキル化反応を試みた。興味深いことに、キラルリン酸を用いると反応はほとんど進行しなかったが、キラルリン酸カルシウム塩 **2** を用いると効率的に Friedel-Crafts アルキル化反応が進行し、対応する付加体が高い光学純度で得られた⁹⁾ (Scheme 4)。また、モレキュラーシーブスの添加が反応の進行および高い不斉収率の発現に必須であることも見出した。



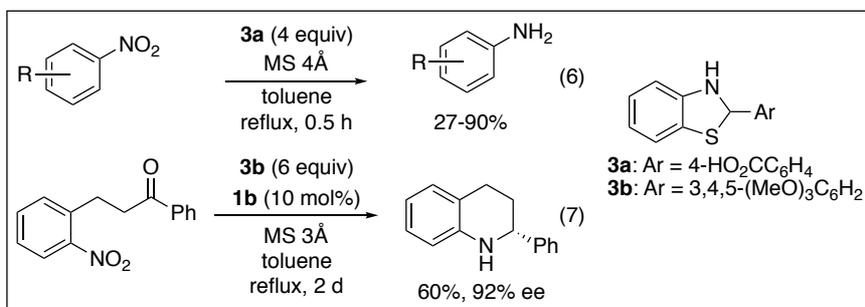
(2) インドリルアルコールの脱ヒドロキシ水素化反応

インドリルアルコールに対してキラルリン酸 **1d** 存在下ベンゾチアゾリンを作用させると、脱ヒドロキシ水素化反応が進行し、キラルな 2 位置置換インドリルアルコールが光学純度良く得られた¹⁰⁾。興味深いことに、ベンゾチアゾリンに代えて Hantzsch エステルを還元剤として用いると、収率が大きく低下したことから、本反応においては、ベンゾチアゾリンを用いることが必須である。(Scheme 5)。



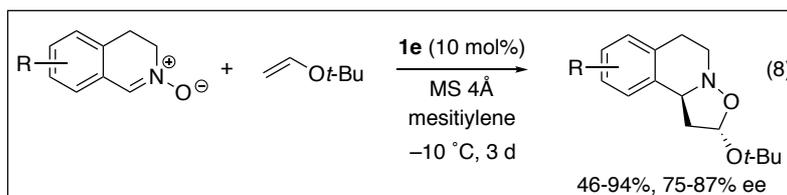
(3) ベンゾチアゾリンを用いたニトロ基の還元反応と 2-アリアルテトラヒドロキノリン誘導体の不斉合成への展開

ケトイミンの水素移動型還元反応において、ベンゾチアゾリンが優れた水素供与体として作用することを既に見出しているが、今回、芳香族ニトロ基が、加熱条件下ベンゾチアゾリン **3e** により還元され、アニリン誘導体が見出された (Scheme 6)。さらに、 α -位にベンズイルエチル基を有するニトロベンゼンに対して、キラルリン酸 **1b** とベンゾチアゾリン **3b** を加えて加熱することにより、ニトロ基の還元を引き続き分子内還元的アミノ化が進行し、2-アリアルテトラヒドロキノリン誘導体が良い収率かつ高い光学純度で得られた¹¹⁾ (Scheme 7)。



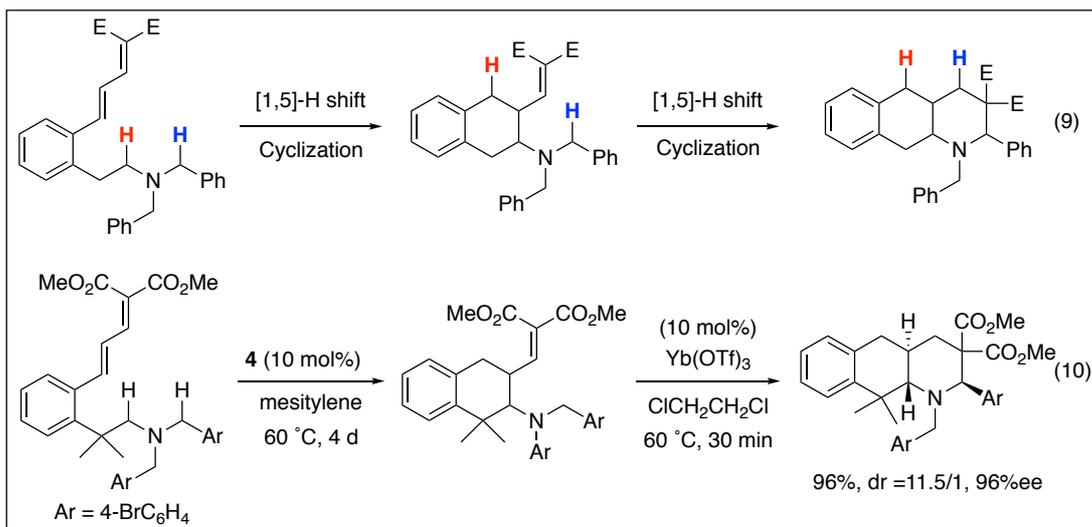
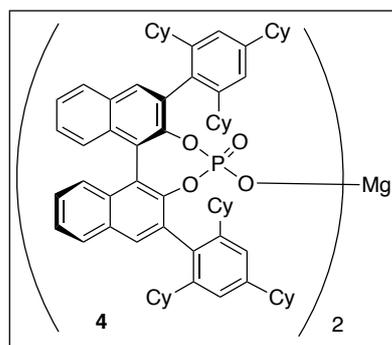
(4) [3+2]付加環化反応の開発

ニトロンと、ビニルエーテルとの 1,3-双極子付加反応により、1-置換 1,2,3,4-テトラヒドロイソキノリン誘導体がエキソ選択的にかつ良好な光学純度で得られた¹²⁾(Scheme 8)。ビニルエーテルとして *t*-ブチルエーテルを用いることが必須である。



(5) 炭素—水素結合活性化を基軸とする分子内 redox 反応を用いる環化反応の開発

我々は、水素の[1,5]移動反応に引き続く環化反応により、新たな環状骨格を得る分子内 redox 反応を数多く報告している。既に、キラルリン酸を用いることにより、分子内 redox 反応が不斉触媒化できることを見出している¹³⁾。今回、分子内 redox 反応が引き続いて2回進行して三環性化合物を得る反応がルイス酸により効率よく進行することを見出した。不斉触媒化を目指して三環性化合物の不斉合成に挑戦した。その結果、キラルリン酸マグネシウム塩 **4** をルイス酸触媒として用いることにより効率良く進行し、対応する環化体が高い光学純度で得られることを見出した¹⁴⁾(Scheme 9)。



References

- 1) Akiyama, T.; Itoh, J.; Yokota, K.; Fuchibe, K. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 1566-1568.
- 2) Uraguchi, D.; Terada, M. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 5356-5357.
- 3) Yamanaka, M.; Itoh, J.; Fuchibe, K.; Akiyama, T. *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 6756-6764.
- 4) For reviews, see: Akiyama, T. *Chem. Rev.* **2007**, *107*, 5744-5758. Parmar, D.; Sugiono, E.; Raja, S.; Rueping, M. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 9047-9153. Parmar, D.; Sugiono, E.; Raja, S.; Rueping, M. *Chem.*

- Rev.* **2017**, *117*, 10608–10620. Akiyama, T.; Mori, K. *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 9277–9306. Merad, J.; Lalli, C.; Bernadat, G.; Maury, J.; Masson, G. *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 3925–2943. Please see also: 秋山隆彦 *有機合成化学協会誌* **2017**, *75*, 410–420.
- 5) Miyagawa, M.; Yoshida, M.; Kiyota, Y.; Akiyama, T. *Chem. Eur. J.* **2019**, *25*, 5677–5681.
 - 6) Uchikura, T.; Suzuki, R.; Suda, Y.; Akiyama, T. *ChemCatChem* **2020**, *12*, 4784–4787.
 - 7) Itoh, J.; Fuchibe, K.; Akiyama, T. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 4016–4018.
 - 8) Mori, K.; Wakazawa, M.; Akiyama, T. *Chem. Sci.* **2014**, *5*, 1799–1803.
 - 9) Ibáñez, I.; Kaneko, M.; Kamei, Y.; Tsutsumi, R.; Yamanaka, M.; Akiyama, T. *ACS Catal.* **2019**, *9*, 6903–6909.
 - 10) Osakabe, H.; Saito, S.; Miyagawa, M.; Suga, T.; Uchikura, T.; Akiyama, T. *Org. Lett.* **2020**, *22*, 2225–2229.
 - 11) Jin, Y.; Honma, Y.; Morita, H.; Miyagawa, M.; Akiyama, T. *Synlett* **2019**, *30*, 1541–1545.
 - 12) Miyagawa, M.; Yamamoto, R.; Kobayashi, N.; Akiyama, T. *Synlett* **2019**, *30*, 499–502.
 - 13) Mori, K.; Ehara, K.; Kurihara, K.; Akiyama, T. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 6166–6169.
 - 14) Mori, K.; Isogai, R.; Kamei, Y.; Yamanaka, M.; Akiyama, T. *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 6203–6207.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miyagawa Masamichi, Yoshida Masaru, Kiyota Yuki, Akiyama Takahiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Enantioselective Friedel-Crafts Alkylation Reaction of Heteroarenes with N Unprotected Trifluoromethyl Ketimines by Means of Chiral Phosphoric Acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 5677 ~ 5681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201901020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ibanez Ignacio, Kaneko Mio, Kamei Yuto, Tsutsumi Ryosuke, Yamanaka Masahiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Enantioselective Friedel-Crafts Alkylation Reaction of Indoles with -Trifluoromethylated - Nitrostyrenes Catalyzed by Chiral BINOL Metal Phosphate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 6903 ~ 6909
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b01811	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Jin Yuan, Honma Yasuhiro, Morita Hisashi, Miyagawa Masamichi, Akiyama Takahiko	4. 巻 30
2. 論文標題 Enantioselective Synthesis of 1-Substituted 1,2,3,4-Tetrahydroisoquinolines through 1,3-Dipolar Cycloaddition by a Chiral Phosphoric Acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 1541 ~ 1545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-1690108	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Uchikura Tatsuhiro, Moriyama Kaworuko, Toda Mitsuhiro, Mouri Toshiki, Ibanez Ignacio, Akiyama Takahiko	4. 巻 55
2. 論文標題 Benzothiazolines as radical transfer reagents: hydroalkylation and hydroacylation of alkenes by radical generation under photoirradiation conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11171 ~ 11174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC05336K	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Osakabe Hiroto, Saito Shota, Miyagawa Masamichi, Suga Takuya, Uchikura Tatsuhiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 22
2. 論文標題 Enantioselective Dehydroxyhydrogenation of 3-Indolylmethanols by the Combined Use of Benzothiazoline and Chiral Phosphoric Acid: Construction of a Tertiary Carbon Center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 2225 ~ 2229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00430	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Keiji, Isogai Ryo, Kamei Yuto, Yamanaka Masahiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 140
2. 論文標題 Chiral Magnesium Bisphosphate-Catalyzed Asymmetric Double C(sp ³)-H Bond Functionalization Based on Sequential Hydride Shift/Cyclization Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6203 ~ 6207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b02761	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyagawa Masamichi, Yoshida Masaru, Kiyota Yuki, Akiyama Takahiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Enantioselective Friedel-Crafts Alkylation Reaction of Heteroarenes with N Unprotected Trifluoromethyl Ketimines by Means of Chiral Phosphoric Acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry- A European Journal	6. 最初と最後の頁 5677 ~ 5681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201901020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyagawa Masamichi, Yamamoto Ryota, Kobayashi Nanako, Akiyama Takahiko	4. 巻 30
2. 論文標題 Reduction of Nitroarenes to Anilines with a Benzothiazoline: Application to Enantioselective Synthesis of 2-Arylquinoline Derivatives	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 499 ~ 502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0037-1611639	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Keiji, Isogai Ryo, Kamei Yuto, Yamanaka Masahiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 140
2. 論文標題 Chiral Magnesium Bisphosphate-Catalyzed Asymmetric Double C(sp ³)?H Bond Functionalization Based on Sequential Hydride Shift/Cyclization Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6203 ~ 6207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b02761	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cayuelas Alberto, Larra?aga Olatz, Selva Ver?nica, N?jera Carmen, Akiyama Takahiko, Sansano Jos? M., de?C?zar Abel, Miranda Jos? I., Coss?o Fernando P.	4. 巻 24
2. 論文標題 Cooperative Catalysis with Coupled Chiral Induction in 1,3-Dipolar Cycloadditions of Azomethine Ylides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 8092 ~ 8097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201801433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akiyama Takahiko, Miyagawa Masamichi, Takashima Kensuke	4. 巻 29
2. 論文標題 Asymmetric Reduction of Trifluoromethyl Alkynyl Ketimines by Chiral Phosphoric Acid and Benzothiazoline	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 1607 ~ 1610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0037-1609755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchikura Tatsuhiro, Suzuki Riku, Suda Yusuke, Akiyama Takahiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Enantioselective Synthesis of 2 Substituted Indoles Bearing Trifluoromethyl Moiety by the Friedel Crafts Alkylation Reaction of 4,7 Dihydroindole with N ?H Trifluoromethyl Ketimines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 4784 ~ 4787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202000920	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito Kodai, Miyashita Hiromitsu, Ito Yui, Yamanaka Masahiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 22
2. 論文標題 Oxidative Kinetic Resolution of Acyclic Amines Based on Equilibrium Control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 3128 ~ 3134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00887	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Osakabe Hiroto, Saito Shota, Miyagawa Masamichi, Suga Takuya, Uchikura Tatsuhiro, Akiyama Takahiko	4. 巻 22
2. 論文標題 Enantioselective Dehydroxyhydrogenation of 3-Indolylmethanols by the Combined Use of Benzothiazoline and Chiral Phosphoric Acid: Construction of a Tertiary Carbon Center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 2225 ~ 2229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00430	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchikura Tatsuhiro, Moriyama Kaworuko, Toda Mitsuhiro, Mouri Toshiaki, Ibáñez Ignacio, Akiyama Takahiko	4. 巻 55
2. 論文標題 Benzothiazolines as radical transfer reagents: hydroalkylation and hydroacylation of alkenes by radical generation under photoirradiation conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11171 ~ 11174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC05336K	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uchikura Tatsuhiro, Toda Mitsuhiro, Mouri Toshiaki, Fujii Tatsuya, Moriyama Kaworuko, Ibáñez Ignacio, Akiyama Takahiko	4. 巻 85
2. 論文標題 Radical Hydroalkylation and Hydroacylation of Alkenes by the Use of Benzothiazoline under Thermal Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12715 ~ 12723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c01872	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 7件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Recent Progress in the Chiral Phosphoric Acid Catalysis
3. 学会等名 TexSyn IV (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Friedel-Crafts Alkylation Reaction of Trifluoromethylated N-H Ketimine with Heteroarenes by Means of Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 21st European Symposium on Organic Chemistry (ESOC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Reactions Catalyzed by Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 Florida Heterocyclic Conference, FLoHet2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Reactions Catalyzed by Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 The 18th Asian Chemical Congress, IUPAC ChemRAWN Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Recent Progress in the Chiral Phosphoric Acid Catalysis
3. 学会等名 International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals, (C&FC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Synthesis of Fluorinated Compounds by Means of Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 6th International Symposium on Organofluorine Compounds in Biomedical, Organic Materials and Agricultural Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama, Mio Kaneko, and Ignacio Ibanez
2. 発表標題 Enantioselective Friedel-Crafts Alkylation Reaction of Indole with Nitroalkenes by Means of Chiral Phosphoric Acid Metal Salt: Construction of Quaternary Carbon Center
3. 学会等名 XXII International Conference on Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Recent Progress in the Chiral Phosphoric Acid Catalysis
3. 学会等名 International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals, (C&FC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Synthesis of Fluorinated Compounds by Means of Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 6th International Symposium on Organofluorine Compounds in Biomedical, Organic Materials and Agricultural Sciences (Nanjing Fluorine Days) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiko Akiyama
2. 発表標題 Enantioselective Reactions Catalyzed by Chiral Phosphoric Acid
3. 学会等名 International Symposium on Organic Reactions 2020 (ISOR 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>学習院大学理学部化学科 秋山研究室 http://www.chem.gakushuin.ac.jp/akiyama/</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------